De beteekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde

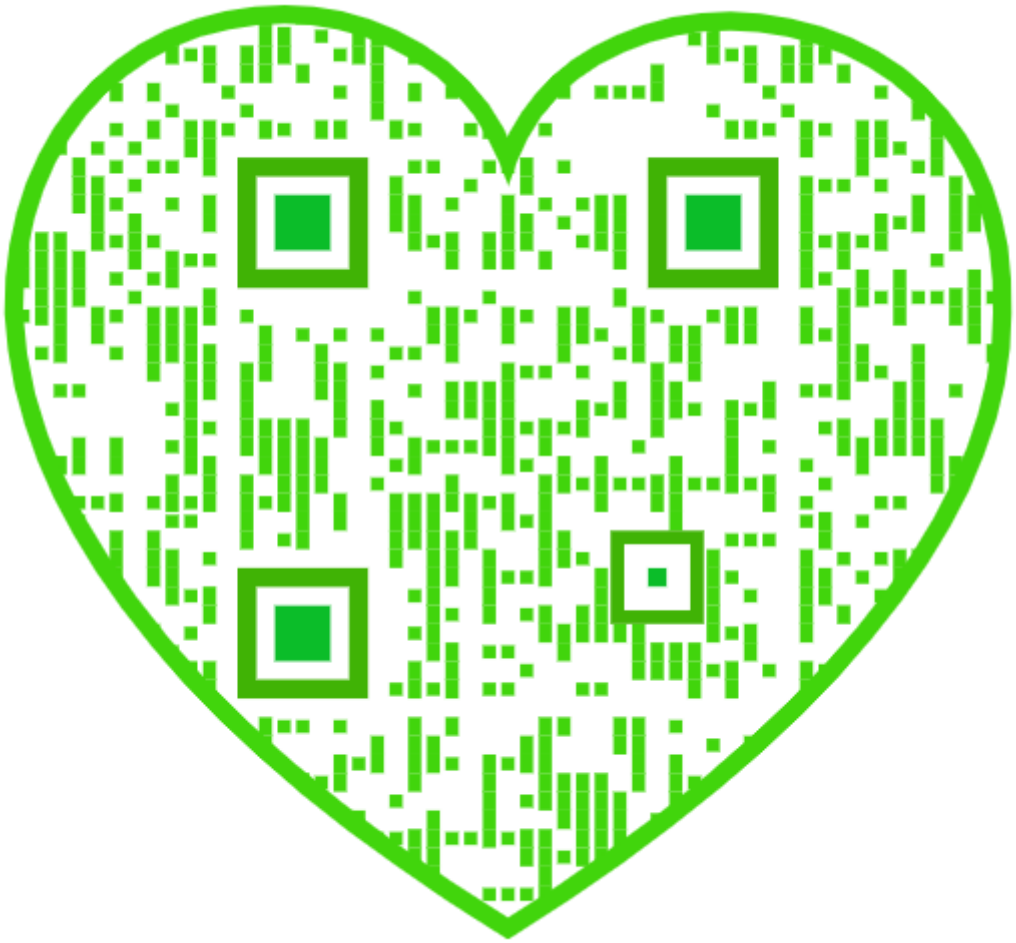
Heike Kamerlingh Onnes

bron
Heike Kamerlingh Onnes, *De beteekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde*. E.J. Brill, Leiden 1882

Zie voor verantwoording: https://www.dbnl.org/tekst/kame003bete01_01/colofon.php

Let op: boeken en tijdschriftjaargangen die korter dan 140 jaar geleden verschenen zijn, kunnen auteursrechtelijk beschermd zijn. Welke vormen van gebruik zijn toegestaan voor dit werk of delen ervan, lees je in de gebruiksvoorwaarden.

dbnl digitale bibliotheek voor de Nederlandse letteren



[De beteekenis van het quantitatief onderzoek in de natuurkunde]

Curatoren, Professoren, Doctoren, Studenten aan deze Universiteit, gij allen, die mij met uwe tegenwoordigheid vereert,
Zeergewenschte toehoorders!

De natuurkunde dankt hare vruchtbaarheid in het voortbrengen van middelen tot stoffelijk welzijn en haren overwegenden invloed op onze wereldbeschouwing aan den zuiveren geest der proefondervindelijke wijsbegeerte. Zij kan haar belangrijk aandeel in het denken en werken der hedendaagsche maatschappij slechts behouden, wanneer zij door waarneming en proefneming telkens nieuwen grond aan het onbekende ontworstelt.

Het aantal en vooral de hulpmiddelen der instellingen, welke haar daartoe de gelegenheid aanbieden, staan echter verre achter bij de groote beteekenis van het maatschappelijk belang, aan welks behartiging zij gewijd zijn. Hij, die de gewichtige taak aanvaardt, tot de beoefening der natuurkunde op te leiden en een dier instellingen te beheeren, heeft zich dus met dubbelen ernst rekenschap te geven van zijn inzicht omtrent de eischen van proefondervindelijk onderzoek in onzen tijd.

Hij moge voor zijn werken en streven geen anderen prikkel kennen dan de dichterlijke dorst naar waarheid, het doorgronden van den aard der dingen moge voor hem levensdoel zijn; den moed tot het aanvaarden van

een ambt, dat hem daartoe de gelegenheid biedt, kan hij slechts putten uit de overtuiging nuttig te kunnen zijn door het handhaven van bepaalde beginselen.

Naar mijn inzicht moet bij de proefondervindelijke beoefening der natuurkunde het s t r e v e n n a a r q u a n t i t a t i e f o n d e r z o e k, d.w.z. naar het opsporen van de maatbetrekkingen in de verschijnselen, op den voorgrond staan.

D o o r m e t e n t o t w e t e n, zou ik als zinspreuk boven elk physisch laboratorium willen schrijven.

Schenk mij dus Uwe welwillende aandacht, wanneer ik de beteekenis tracht toe te lichten, welke het quantitatief onderzoek voor de ontwikkeling der natuurkunde heeft gehad en in de naaste toekomst zal hebben.

Onnaspeurlijk zijn veelal de wegen, die de grootste geesten tot waarheid hebben geleid. Met de bezieling van den kunstenaar aanschouwen zij haar licht, scheppen zij de vraagstukken aan wier oplossing geheele geslachten van waarnemers en wiskundigen kunnen werken, en trekken zij de grondlijnen, waarop het gebouw der wetenschap verrijst. Het is niet ieder gegeven de opperste bouwmeester te kunnen zijn. Maar velen zijn er noodig aan wier arbeid de zorg voor de stevigheid van het geheel wordt toevertrouwd. En voor hem, wiens oordeel gescherpt, wiens hand geoefend en wiens karakter gevormd is, blijft de voldoening weggelegd, mede te mogen werken aan de voltooiing van de grootsche schepping van een Newton en een Huygens, van een Volta en een Fresnel, van een Faraday en een Kirchhoff. Aan hun geest kan de vorm beantwoorden, dien men aan elken bouwsteen geeft.

Maar daartoe moet men, met nieuwe ervaring gewapend, steeds terugkeeren tot de studie van hun gedachtengang in het experiment. En dan voelt men in hun streven naar quantitatief onderzoek wel niet het eenige richtsnoer voor zelfstandigen arbeid, maar zeker dat, hetwelk het eerst tot helderheid komt, en dat den weg toont, waar arbeid zeker niet verloren is en waar de dwaallichten verre zijn.

Reeds aan den aanvang van het wetenschappelijk tijdperk der natuurkunde stelde Galilei als eerste regel, dat men de verschijnselen meten moet, voor men ze kan samenvatten onder een verklarend begrip.

Zijne waarneming van den gelijken duur der schommelingen van den slinger had reeds vroeg in hem het baanbrekend vernuft geopenbaard. Doch hij bleef bij deze toevallige opmerking niet stilstaan, maar de natuur door meting nader ondervragende, wist hij de slingerbeweging aan maat en getal te binden en de wet op te stellen, met welke hij in den dom te Pisa de hoogte van het gewelf uit den schommeltijd der lichtkronen berekende. En niet alleen in de verschijnselen van den slinger ontdekte hij regelmaat; het onderzoek van de beweging langs het hellend vlak, schonk hem na vele metingen de overtuiging, dat alle verschijnselen der zwaartekracht met behulp van de eenparig versnelde beweging op de meest eenvoudige wijze beschreven konden worden. En zoo werden de zuivere begrippen der traagheid en der versnelling tot den gemeenschappelijke hoeksteen van de mechanica en de natuurkunde.

In het nasporen van dergelijke natuurwetten als door Galilei werden ontdekt, valt de beteekenis van het quantitatief onderzoek in het oog. De bij elkaar behoorende waarden voor twee meetbare grootheden in eenzelfde verschijnsel, zooals tijd en afgelegde weg in den vrijen val, kunnen door hunne aansluiting aan eene eenvoudige formule, deze tot wet verheffen.

Doch nog op een andere wijze kunnen de getalwaarden, welke bij een metend onderzoek verkregen worden, licht over de verschijnselen verspreiden. Door hunne overeenstemming met andere, welke reeds eene bepaalde beteekenis voor ons verkregen hebben, kunnen zij een onverwachten samenhang openbaren.

Zulk een samenhang vond bijv. Faraday bij zijn onderzoek naar de mate van ontleding van verschilde stoffen door den galvanischen stroom. Door de overeenstemming van het bedrag der afgescheiden stoffen na de doorvoering van eene zelfde hoeveelheid electriciteit met hunne chemische aequivalenten kon hij zijn wet der bepaalde electrochemische werking uitspreken, (volgens welke met elke valentie van een chemisch atoom eene bepaalde hoeveelheid electriciteit, als 't ware een atoom electriciteit, zich door de vloeistof beweegt).

Doch vergun mij u nog een voorbeeld te geven van eene derde wijze, waarop het quantitatief onderzoek tot de kennis der natuurverschijnselen bijdragen kan. Wanneer het eene standvastige betrekking aanwijst tusschen eene meetbare grootheid, die verdwijnt, en eene andere, die gelijktijdig verschijnt, zal de onderstelling voor de hand liggen, dat de eene grootheid in de andere is omgezet.

Deze redeneering werd toegepast bij het opstellen van de wet van het behoud van arbeidsvermogen. Reeds graaf Rumford had, om den overgang van arbeid in warmte aan te toonen, eene natuurkundige proef op groote schaal genomen, waarbij een kanon opgesloten in een calorimeter met eene stompe boor werd uitgehold. Ofschoon hij zich verontschuldigt over de weinig deftige vreugde, welke hij aan den dag legde, toen hij het water warmer zag worden, behoefde dit zeker niet, wanneer men bedenkt, dat hij tevens de aandacht vestigde op de hoeveelheid arbeid, die door het stoomwerktuig aan de boor werd afgestaan en in de ziel van het geschut in warmte werd omgezet. Hij kon daardoor den arbeid noodig om eene calorie warmte te leveren op duizend voetponden schatten.

Toch werd eerst door de proevenreeksen van Joule bewezen, dat er tusschen warmte en arbeid in a l hunne omzettingen eene standvastige verhouding bestaat. Uiterst vernuftige metingen omtrent warmteontwikkeling in den galvanischen keten, door verbranding, door magneto-electrische stroomen, door samendrukking van gassen, door wrijving, stelden hem in staat deze standvastige betrekking tusschen warmte en arbeid te bepalen. Was het te verwonderen, dat hij op dien proefondervindelijken grondslag de wet van het behoud van arbeidsvermogen niet alleen uitsprak, maar ook aan de hand van Helmholtz ingang deed vinden als grondwet der natuurkunde.

In het streven van Joule om door telkens gewijzigde methoden het mechanisch aequivalent der warmte vast te stellen, ligt zeker wel het beste bewijs van de beteekenis door dezen genialen man aan het quantitatief

onderzoek gehecht. Door zijn arbeid heeft hij zich een gedenkteeken gesticht, wel waardig in den naam van Joule's aequivalent gehuldigd te worden.

In het ontbreken van een dergelijken proefondervindelijken steun aan Mayer's eerste bespiegelingen over deze natuurwet, moet het voor een deel worden toegeschreven, dat een tijd lang verguizing het deel van dezen diepzinnigen denker kon zijn.

Maar het leert dubbel hoe dankbaar de taak is van hen, die afziende van voorbarige bespiegelingen over het vooruitzicht, dat eene hypothese kan openen, met volharding en toewijding de waarheid er van toetsen aan de ervaring en daardoor steeds hechtere zuilen optrekken in het gebouw der wetenschap.

Slechts in zooverre wij onze inzichten door meting bevestigd hebben zijn zij tot zekerheid gekomen.

Omnia in mensura, in numero et pondere erkennende, moet het einddoel van onzen arbeid steeds zijn de verschijnselen in meetbaren vorm te brengen. Dit einddoel moet den geheelen gang van het proefondervindelijk onderzoek beheerschen.

In de voorbeelden, welke wij tot nog toe beschouwden, kon bijna onmiddelijk tot meting worden overgegaan. Maar dikwijls schijnt het op den eersten blik alsof er van meting geen sprake kan zijn. Een verschijnsel mag echter niet door ons vernuft worden losgelaten, voor het zoo gezuiverd, vereenvoudigd en met andere samengevoegd is, dat de samenwerking van oorzaak en gevolg in meetbare grootheden is te overzien. Wie

dit beginsel tot richtsnoer neemt zal steeds zijne aandacht vestigen op de factoren, welke men meetbaar wijzigen kan, en daardoor geleid worden tot de juiste keuze van den vorm van het experiment, in welke veelal het meest ingrijpend deel van den geestesarbeid bij het onderzoek gelegen is.

Duidelijk treedt dit aan den dag in de geschiedenis van het galvanisme.

Terwijl de naam van Galvani slechts van historische beteekenis in de natuurkunde is gebleven, ontdekte Volta de wet der electrocopische verschillen en ontsloot hij de rijke bron der Volta'sche electriciteit. Zeker was dit daaraan toe te schrijven, dat hij zijne aandacht had gevestigd op de meetbare wijziging van het spanningsverschil bij de aanraking van verschillende metalen.

Dezelfde vingerwijzing vinden wij in het onderzoek, waarmede Coulomb op het gebied der electrische en magnetische verschijnselen den weg ter verklaring baande. Hij wist in de meestal uiterst geringe krachten, welke zich hier vertoonen, het meetbaar element te vinden, door het nauwkeurig onderzoek waarvan hij tot de kennis der grondwetten van electriciteit en magnetisme opklom. Om deze werkingen te meten vond hij de wringbalans uit, die op elk gebied tot het meten van kleine krachten toepassing heeft gevonden.

Ons tegenwoordig inzicht in de electrische verschijnselen kon echter eerst verkregen worden, toen door Gauss, Poisson en Green de leer der krachten omgekeerd evenredig aan het quadraat van den afstand tot

eene der schoonste vruchten der hedendaagsche wiskunde was uitgewerkt.

Langs den weg van het mathematisch onderzoek werd zoo de aandacht gevestigd op eene nieuwe meetbare grootheid, die voor de leer der electrische verschijnselen schering en inslag is geworden.

Ik bedoel de electrische potentiaal, die voor deze leer eene dergelijke beteekenis heeft als de temperatuur voor de leer der warmte. Evenals een lichaam tot deze of gene temperatuur verwarmd kan worden, kan het ook tot eene hoogere of lagere potentiaal worden geelectriseerd; en wanneer twee punten van verschillende potentiaal geleidend zijn verbonden zal de electriciteit stroomen naar de zijde, waar de potentiaal het laagste is, evenals de warmte zich beweegt naar de plaats van de laagste temperatuur.

Sinds Thomson zijn vernuft aan de verbetering der electrostatische meetwerktuigen wijdde, hebben wij in den quadrant- en absoluten electrometer instrumenten verkregen, op welke de potentiaal bijna even scherp en gemakkelijk kan worden afgelegen als de temperatuur op een thermometer. De ongeëvenaarde doelmatigheid, nauwkeurigheid en gevoeligheid dezer werktuigen heeft de potentiaal tot eene tastbare grootheid gemaakt. En om in te zien van hoeveel belang de invoering van de potentiaal in de electrische metingen is geweest, behoeft men zich slechts' te herinneren, hoe op dit gebied de meeste geesten in de nevelen bevangen waren, welke de begrippen van electomotorische kracht, spanning en electroscopisch verschil veelal omgaven, en hoe eerst door Thomson's potentiaalmeters de fijnste onderzoekingen mogelijk geworden zijn. Men denke slechts

aan Boltzmann's bepaling van het diëlectrisch induceerend vermogen der gassen, dat Faraday met de grootste volharding niet wist te ontdekken.

Reeds hier zien wij de vruchtbaarheid van de samenwerking van theorie en experiment. Beide steunen en ontwikkelen elkaar. Hunne samenwerking is zoo innig dat het nutteloos zoude zijn te vragen, aan welk van beiden de voorrang toekomt. Nu eens is de theorie voorgegaan en vraagt zij nog slechts aan het experiment de afmetingen vast te stellen, welke aan hare voorstellingen moeten worden toegekend, - ik herinner slechts aan de bepaling van de golflengte van het licht - dan weer steunt de theorie op het beeld, dat het metend onderzoek van de verschijnselen ontwikkelt.

Een merkwaardig voorbeeld van het laatste levert het onderzoek, waardoor Faraday de electrische en magnetische verschijnselen op eene geheel nieuwe wijze in plaats van door onmiddellijke werking op een afstand leerde beschrijven.

Door eene merkwaardige toepassing der nulmethode had hij aangetoond, dat de deeltjes van elke electrische lading als 't ware door onzichtbare inductielijnen vastgehouden worden aan ladingen van tegengesteld teeken, welke men steeds opsporen kan. Daardoor mocht de inductie als de grondvorm der electrische verschijnselen worden beschouwd. Door nauwkeurige metingen met de wringbalans wist hij de inductielijnen in hun gekromden loop door de ruimte te volgen en aan te toonen, dat het bedrag der inductie afhankelijk is van de middenstof, met welke die ruimte gevuld is.

Daardoor kwam hij tot de overtuiging, dat de mid-

denstof het belangrijkst aandeel aan de inductie neemt, en dat de krachten, welke electrische lichamen onderling uitoefenen, niet onmiddellijk aan eene werking op een afstand behoeven te worden toegeschreven, maar door spanningen en drukkingen kunnen worden verklaard, die zich langs deze inductielijnen van deeltje tot deeltje voortplanten, en door welke de lichamen als met onzichtbare veerkrachtige snoeren samenhangen. Evenzoo zocht Faraday de verklaring der magnetische werkingen in de voortplanting van spanningen en drukkingen langs die magnetische krachtlijnen, wier loop zoo fraai door ijzervijlsel kan worden verzinnelijkt.

Hoe schoon en diepzinnig die voorstelling is, blijkt vooral, wanneer men haar samenvoegt met de uitkomst van zijn onderzoek omtrent de wetten der inductiestroomen. Aan den eenvoudigsten vorm van proeven over de inductie bij de beweging van een geleiddraad door een magnetisch veld, wist hij terstond de ware richting voor het quantitatief onderzoek te ontleenen, en de heldere voorstelling der magnetische krachtlijnen deed hem spoedig de wet vinden, dat de inductieverschijnselen geheel door de doorsnijding der krachtlijnen met den geleider worden bepaald.

Een oogenblik scheen het alsof de inzichten van Faraday het lot zouden deelen, dat eens aan Huygens groote ontdekking te beurt viel, en dat zij door het gezag der heerschende meening zouden worden verdrukt. Maar toen door de nasporingen van Maxwell de diepe beteekenis van het beeld, dat zich voor Faraday ontwikkelde, in het volle licht was gesteld, konden deze, aan een der fraaiste vormen van het quantitatief onder-

zoek ontleende, voorstellingen tot eene groote theorie worden samengevoegd.

Tot nog toe, Geachte Toehoorders, heb ik Uwe aandacht gevestigd op de onmiddellijke uitkomsten van het quantitatief onderzoek. Ik wensch nu in het licht te stellen, hoe dit nog op andere wijze vruchten voor de wetenschap afwerpt. Naast deze onmiddellijke uitkomsten toch levert bijna elk onderzoek zijne bijdrage tot de studie, op welke wijze men het best partij kan trekken van het verband van verschillende grootheden, om de eene door de andere te meten.

Die studie oefent een grooten invloed uit op de ontwikkelingsgeschiedenis van die reeks van meetwerktuigen, welke onze belangrijkste hulpmiddelen voor het verder onderzoek zijn, en welke van steeds klimmende beteekenis worden, naarmate de wetenschap, bij haren vooruitgang, in plaats van de enkele zinnelijke waarneming meer en meer die numerieke beelden te bestudeeren krijgt, tot welke zich de aanwijzingen der meetwerktuigen laten samenvoegen.

Door het verband, dat Seebeck tusschen de verwarming van eene soldeerplaats van twee metalen en den opgewekten stroom ontdekte, kon bijv. Nobili van de uiterst gevoelige hulpmiddelen voor de meting van electrische stroomen gebruik maken, om kleine temperatuursveranderingen van de soldeerplaats te bepalen. In den thermomultiplicator verkreeg hij daardoor het werktuig, dat Melloni in staat stelde een geheel nieuw

veld voor het wetenschappelijk onderzoek te openen.

Zoodra Melloni den thermomultiplicator zag ondekte hij daarin het zoolang gezochte middel, om zijne overtuiging, dat de zon ons in onzichtbare stralen warmte toezendt, door proeven te bevestigen.

'C'était un trait de lumière pour moi,' getuigt hij zelf. Dit instrument verliet hem op geen zijner zwerftochten en deed hem volharden in zijn strijd tegen ontbering en miskenning, tot hij uit de hand van Faraday de welverdiende Rumfordmedaille ontving.

Met den thermomultiplicator gelukte het Melloni aan te toonen, dat de onzichtbare stralen geheel de wetten der zichtbare volgen en van deze slechts in golflengte verschillen. Maar de merkwaardigste uitkomst van de metingen met dit instrument was wel, dat door het verschil van absorbeerend vermogen ook voor de donkere warmte, de lichamen in deze stralen eene verscheidenheid moeten openbaren, geheel overeenkomende met die, welke aam de zichtbare wereld hare kleurenpracht schenkt. In de onzichtbare wereld, welke de aanwijzing van den galvanometer ons ontsluit, is het eboniet eene doorschijnende, het water eene ondoorschijnende stof.

Zoo vindt de ontdekking van het verschijnsel, dat ons van de poëzie der cijfers zou mogen doen spreken en dat Melloni met den stouten naam van warmtekleuring bestempelde, haren oorsprong in de ontwikkeling van een meetwerktuig.

Om een tweede voorbeeld te nemen; Gauss heeft niet alleen de natuurwetenschap met een nieuwen tak verrijkt, maar ook door de uitvinding zijner meetwerktuigen grooten invloed op hare ontwikkeling uitgeoefend.

Sinds Gauss de grondslagen voor de leer van het aardmagnetisme legde, is de aardbol overdekt met stations, waar men de verrassende overeenstemming in de grillige bewegingen van den magneetnaald volgt, en waar men nu in gemeenschap met de internationale Noordpoolexpeditie door gelijktijdige waarnemingen een belangrijken stap tot de verklaring der magnetische stormen tracht te doen.

Het zijn deze waarnemingen, welke in het Hooge Noorden onder de Nederlandsche vlag zullen worden verricht, als bewijs, dat in ons volk de oude geest herleeft, dat het nog sympathie heeft voor het streven om onze internationale plaats te heroveren, dat het nog mannen telt, die geen opoffering te zwaar achten, waar het de wetenschappelijke roem van het vaderland geldt, mannen, wier lot wij allen met kloppend hart volgen.

Meer echter dan om de beteekenis voor de kennis van het aardmagnetisme vestig ik Uwe aandacht op de door Gauss uitgedachte hulpmiddelen wegens den invloed, welken zij op de ontwikkeling der natuurkunde in engeren zin hebben uitgeoefend.

Sinds Gauss aan den zwevenden magneet een spiegeltje bevestigde om de onmiddellijke bepaling van de draaiing te vervangen door die van de verplaatsing van het spiegelbeeld eener op aanmerkelijken afstand geplaatste schaal, wordt het leven van de meeste natuurkundigen voor een deel achter schaal en kijker doorgebracht. Want de nauwkeurigheid van deze methode der spiegelaflezing heeft alle verwachtingen overtroffen en haar onmisbaar gemaakt, waar men de werking van uiterst kleine krachten uit de verte wil bespieden.

Maar in de tweede plaats stelde Gauss naast de krachtmeetmethode, welke door Coulomb in de wringbalans was toegepast, eene nieuwe, toen hij door een lichaam aan twee draden op te hangen aan de (onveranderlijke) zwaartekracht een koppel wist te ontleenen, dat draaiingen in het horizontale vlak te weeg brengen kan.

Wilhelm Weber's ongeëvenaard geheel van electrodynamische maatbepalingen vond in dit hulpmiddel der tweedraadsche ophanging zijn uitgangspunt. Een bifilair opgehangen draadklos werd in zijn electrodynamometer gebezigd om de krachten, welke geleiders van electrische stroomen onderling uitoefenen, te meten. Hij verkreeg daardoor het werktuig, dat geschikt is om periodische en snelafloopende verschijnselen door middel van electrische stroomen te bestudeeren; het werktuig, dat hem in staat stelde door jarenlange volharding de wetten der ponderomotorische en inductiewerkingen onwrikbaar vast te stellen, alle verschijnselen der stroomende en rustende electriciteit in een enkele formule samen te vatten, en het absoluut maatstelsel op het gebied der electrische verschijnselen in te voeren.

En hiermede zijn wij gekomen tot de beschouwing van eene andere richting, in welke het quantitatief onderzoek behalve door zijne onmiddelijke uitkomsten rijke vruchten afwerpt. Want een niet minder belangrijken invloed dan door de ontwikkeling der meetwerktuigen oefent het uit door de juiste keuze van een maatstelsel en door de vaststelling der maateenheden.

In het absoluut electromagnetisch maatstelsel heeft Weber naast het metrieke stelsel den grond gelegd tot

eene wereldtaal, in welke voortaan alle ontdekkingen op het gebied der electriciteit voor altijd verstaanbaar zullen worden neergeschreven. De invoering van dit maatstelsel was het doel dat voor weinige weken te Parijs de grootste geleerden op het gebied der electriciteit vereenigde tot een dier congressen, wier bescheiden toewijding aan een werk des vredes zoo hoopvol afsteekt bij den meer in 't oog springenden diplomatischen arbeid.

Laten wij, om een blik te werpen op de werkzaamheden van dit congres, een oogenblik bij het absoluut electromagnetisch maatstelsel stilstaan.

Alle maateenheden voor de electrische grootheden worden in dit stelsel afgeleid uit drie grondeenheden die van lengte, massa en tijd, als welke thans de Centimeter, het Gramme en de Secunde gekozen zijn. Maar het gramme wordt in den CC.water gevonden en de secunde is overal uit de draaiing der aarde bekend, en men behoeft dus alleen in het bezit van den standaardmeter te zijn om het geheele C.G.S.stelsel van afgeleide eenheden steeds en overal weder op te kunnen bouwen. Zoo wordt bijv. de eenheid van kracht die, welke aan de eenheid van massa in de secunde de eenheid van versnelling geeft. Wanneer men op het gebied der electrische verschijnselen begint met de bepaling van magneetpolen vast te knoopen aan de kracht, welke zij op elkander uitoefenen, kan men door dergelijke redeneeringen achtereenvolgens de electromagnetische eenheden van stroomsterkte, galvanische weerstand en capaciteit uitdrukken, kortom alle grootheden meten door eenheden, welke door strenge redeneering met de grondeenheden verbonden zijn.

De invoering van dit maatstelsel kon dus een einde maken aan de heillooze maatverwarring, welke op electrisch gebied in steeds klimmende mate onstond, doordat in elk onderzoek of werktuig geheel willekeurige of onderling onafhankelijke eenheden werden gebruikt.

De eerste stap daartoe geschiedde door de British Association for the Advancement of Science met het oog op de internationale belangen der telegraafindustrie. Om bij die invoering een bezwaar van dezelfde soort te ontgaan als men zou ondervinden wanneer men in het dagelijksch leven lengten met het aardquadrant of den inhoud van den aardbol bij den liter moest meten, koos de British Association decimale veelvouden der eenheden, welke zich het best aansloten aan de afmetingen, die door de praktijk waren geijkt. In de namen van deze praktische veelvouden bracht zij eene welverdiende hulde aan de geleerden, die het meest tot de ontwikkeling van de leer der electriciteit hadden bijgedragen. De praktische eenheid van weerstand werd een Ohm, die van de capaciteit een Farad genoemd. Het zijn deze maten, welke voor materiëele voorstelling geschikt zijn. Het vervaardigen van standaardcopiën van den Ohm en den Farad was het doel, waarmede de British Association aan het werk toog, en vooral de werkzaamheden omtrent het vervaardigen van den Ohm zijn van ingrijpend belang geweest. Men kon daarbij steunen op het werk van honderden waarnemers, de bepaling van de verhouding van weerstanden, was tot astronomische nauwkeurigheid opgevoerd, de eigenaardigheden van den weerstand der lichamen waren hiermede onder allerlei omstandigheden nagegaan, de factoren waren opgespoord, die er een invloed op konden

uitoefenen, het vervaardigen van standaards van weerstand had eene hooge volmaaktheid bereikt, en Weber had absolute weerstandsbepalingen volgens even vernuftige als nauwkeurige methoden verricht. Nieuwe onderzoekingen en metingen der British Association voltooiden het werk, en toen de standaarddraden, zorgvuldig opgerold en in paraffine begraven, gereed waren, scheen door dezen echt wetenschappelijken arbeid de invoering van het absolute maatstelsel met den Ohm en den Farad even goed gewaarborgd als die van het metrieke stelsel met den meter en het kilogram.

En hier moge het mij bij de overeenkomst van de geschiedenis van beide stelsels vergund zijn terug te denken aan den tijd, toen de voorlichting van onzen landgenoot van Swinden door de Nationale Conventie te Parijs werd ingeroepen bij den arbeid, die door grootsche opvatting en energieke uitvoering het metrieke stelsel zegevierend ingang deed vinden.

Met roem overladen in ons vaderland teruggekeerd vermoedde de rapporteur der metercommissie zeker weinig, dat spoedig fijnere metingen zouden leeren, dat de meter niet als eene voorstelling van het tienmillioenste gedeelte van het aardquadrant mocht worden beschouwd.

Met de eenheid van de British Association is het als met den meter gegaan; de standaard is gebleken eene vrij onjuiste voorstelling van de gewenschte grootheid te zijn. Maar ook in een ander opzicht deelde hij het lot van den meter.

Voor den laatsten bleek het door latere nasporingen duidelijk, dat vorm en materie van den oorspronkelijken standaard niet voldoende waren, en dat aan een nieuw

congres, wederom op uitnoodiging der Fransche regeering samengekomen, moest worden opgedragen aan de internationale standaardmeters een definitieven vorm te geven. Ook aan de werkzaamheden van dit congres van '72 heeft Nederland een eervol aandeel genomen. De metrologie is eene afzonderlijke tak van wetenschap geworden, die voor den oningewijde eene dorre reeks van cijfers voorstelt, maar voor hem, die den genialen eenvoud en de grondigheid der einduitkomst beseft, geest en leven aanneemt. Het is nu ook bij den Ohm van de British Association gebleken, dat hij niet die voldoende waarborgen van onveranderlijkheid oplevert, welke de kwikkolom van Simens aanbiedt. De British Association-standaard moest dus onjuist en onbetrouwbaar worden geacht.

Bij dezen stand van zaken nam de Fransche regeering op nieuw het initiatief tot verbetering en riep in het vorige jaar een congres samen, aan welks overleggingen alle internationale electrische belangen, en wel in de eerste plaats het ontwerp van een algemeen maatstelsel, werden toevertrouwd. De uitwerking, welke Weber's stelsel in het schoone gewrocht der British Association gevonden had, werd gezuiverd van de gebreken, welke het aankleefden, en voorgoed als maatstelsel aangenomen.

De nauwkeurige vaststelling van den nieuwen standaard Ohm en Farad is de gewichtige internationale werkzaamheid, met welke het nu onlangs samengeroepen congres te Parijs een aanvang heeft gemaakt. De geschiedenis van de B.A.-standaard toonde aan, dat het eerste werk moet zijn langs allerlei verschillende methoden absolute weerstandsbepalingen te verrichten. De

wetenschappelijke krachten, voor dit werk beschikbaar, zullen tot hun volle recht komen, nu het evenals bij astronomische vraagstukken, tusschen verschillende laboratoria verdeeld wordt. Eerst wanneer het uitvoerend comité tot op één duizendste overeenstemmende uitkomsten verkregen heeft, eerst wanneer op die wijze eene nieuwe zusterwetenschap der metrologie tot eenigszins gelijken trap als deze is gebracht, zal worden overgegaan tot de vaststelling van de standaards.

Ik geloof den wensch van allen, die belangstellen in de eer van ons vaderland, uit te spreken, wanneer ik dit overzicht van de geschiedenis van de invoering van het electrische maatstelsel besluit met den wensch, dat aan den man, die Nederland op dit gebied zoo luisterrijk vertegenwoordigt, nog lang de werkkracht geschonken moge zijn om aan dezen verheven internationalen arbeid deel te nemen.

Men moet teruggaan tot de oude opgaven om de voortreffelijkheid van het absolute maatstelsel ten volle te beseffen. Want naast zekerheid en eenheid der maten geeft het bovenal helderheid in het overzicht der gemeten grootheden. Die helderheid wortelt in de hoogst eenvoudige betrekking, waarin de verschillende electrische en magnetische grootheden in het absolute maatstelsel uitgedrukt, onderling en tot het mechanisch arbeidsvermogen treden. Daardoor werpt het een helder licht op de inductieverschijnselen, voorspelt het de smelting van een draad door de ontlading van eene batterij uit de aanwijzing van den electrometer, volgt het op den galvanometer het aantal paardekrachten dat een electrisch licht verbruikt, en weet het op den multiplicator de draagkracht van een electromagneet af te lezen;

daardoor geeft het kortom dien quantitatieven blik op de verschijnselen, waarvan de beteekenis voor elken experimentator zoo zonneklaar wordt.

Maar niet alleen tot de vorming van ons helder inzicht in de eerst zoo grillige electrische verschijnselen hebben de electrische metingen bijgedragen. Met hunne hulp kan ook het verband van licht en electriciteit ontsluierd worden.

Maxwell wist uit de metingen van Weber en Kohlrausch de snelheid te berekenen, met welke zich electromagnetische trillingen in het luchtledige zouden moeten voortplanten, wanneer men het bestaan aanneemt van die onweegbare middenstof, welke Faraday als drager der electromagnetische werkingen leerde beschouwen.

En ziet, het bleek dat deze snelheid overeenstemde met die van de voortplanting van het licht, hetgeen men reeds had leeren kennen als trillingen van eene overal in de ruimte aanwezige onweegbare middenstof. Deze overeenstemming werd dan ook de hoeksteen van Maxwells theorie, die in het licht niet anders dan electromagnetische trillingen ziet, eene theorie, welke aan de Leidsche universiteit een krachtigen steun gevonden heeft. En zeker wordt in dezen nieuwen blik op de eenheid der natuurverschijnselen wel het schitterendst bewezen, dat de vaststelling van elke meetbare verhouding in de natuur eene schat aan de wetenschap toevoegt.

Na U aldus, Geachte toehoorders de rol geschetst te hebben, welke het quantitatief onderzoek in het vast-

stellen der algemeene natuurwetten en in het verwerven van ons inzicht in de eenheid der natuurverschijnselen heeft vervuld, moge het mij ten slotte vergund zijn een blik in de naaste toekomst te slaan en de vraag te stellen of het deze beteekenis in dezelfde mate zal behouden. Daartoe vestig ik uwe aandacht op de eenige nieuwe richting in het natuurkundig onderzoek, welke op dit oogenblik is te overzien. Het is de richting, tot welker ontwikkeling de ontdekking van de wet van het behoud van arbeidsvermogen den stoot heeft gegeven. Wegens de eenheid der natuurkrachten ziet zij in deze slechts uitingen van een samenstel van bewegingsverschijnselen. Nu de algemeene wetten, welke dit samenstel beheerschen meer en meer bekend geworden zijn, is het opsporen van den bouw en de samenvoeging der deelen op den voorgrond getreden. Men wenscht een blik te werpen in het mechanisme der natuur. Daardoor richt zich het streven der natuurkunde op het doorgronden van het wezen der moleculen. Ik stel er prijs op de groote beteekenis van het quantitatief onderzoek juist voor deze richting in het licht te stellen, welke het groote vraagstuk der hedendaagsche natuurkunde in de verklaring der physische eigenschappen uit bouw, samenvoeging en beweging der moleculen ziet.

Talrijk zijn de moeilijkheden aan de oplossing van dit vraagstuk verbonden omdat het molecuul zelve voor ons niet toegankelijk is. Bij de samengesteldheid der wetten, welke den samenhang der physische eigenschappen met aard en beweging der moleculen beheerschen, mogen wij het reeds een belangrijken stap rekenen, wanneer het gelukt benaderingswetten op te stellen.

Het vinden daarvan wordt door het metend onderzoek voorbereid, wanneer het de getalwaarden vaststelt, welke de physische eigenschappen der stoffen, als dichtheid, uitzettingscoëfficient, wrijvingscoëfficient, brekingsindex, geleidingsvermogen enz. in verschillende toestanden bepalen.

Naast het opstellen van deze benaderingswetten bestaat het eigenaardige van de taak der moleculaire physica in het toetsen daarvan aan steeds meer nauwkeurige gegevens.

Zoo verkrijgt dit onderzoek zekere overeenkomst met dat naar den loop der hemellichamen.

Om dien te bepalen leerde Keppler in de elliptische banen der planeten om de zon eene eerste benaderingswet kennen. Newton vond den grond van deze wet in de algemeene aantrekkingskracht, door welke de loop der hemellichamen met inachtneming van hun onderlinge inwerking met veel grootere nauwkeurigheid kon wor den voorspeld. Door de bepaling van de afwijkingen der loopbaan van Uranus van die, welke de theorie liet voorzien, wist verder Leverrier de nieuwe planeet Neptunus aan te wijzen. En wanneer ooit, zooals sommigen gemeend hebben, naast de gravitatie van Newton nog een nieuw verklaringsbeginsel moet worden ingevoerd, zal dit moeten worden afgeleid uit de meest nauwkeurige storingsbepalingen.

Op dezelfde wijze is ook op het gebied der moleculaire physica de studie van afwijkingen van opvolgende benaderingswetten eene bron van nieuwe ontdekkingen. Vergun mij U thans den eigenaardigen gang van dit onderzoek met een voorbeeld toe te lichten.

Als eene eerste benaderingswet mag die van Boyle-Gay Lussac worden beschouwd, volgens welke het product van volume en druk bij een gas evenredig is met de absolute temperatuur, eene wet van welke ook de theoretische grond gevonden is in de beschouwing, dat de moleculen der gassen geene afmetingen hebben en zonder elkander aan te trekken zich heen en weer bewegen tusschen de wanden van de ruimte, binnen welke zij zijn opgesloten.

Dat het slechts eene benaderingswet was, viel reeds terstond in het oog bij die gassen, welke men onder vrij geringen druk tot een klein vloeistofvolumen verdichten kon. Het verder onderzoek omtrent de geldigheid van deze wet mag als een der schoonste voorbeelden van de vruchtbaarheid van het toetsen van benaderingswetten worden beschouwd.

Langzamerhand leerde men door de temperatuur te verlagen en den druk te verhoogen meerdere gassen verdichten, maar toch scheen er eene groep van permanente gassen over te blijven, bij welke men de wet van Boyle-Gay-Lussac voor geldig mocht houden. Eerst door de onderzoekingen van Regnault (wier doelmatige inrichting en zorgvuldige inachtneming van alle storingen op elk gebied van metingen een heilzamen invloed heeft uitgeoefend) werd afdoende bewezen, dat verscheidene dezer gassen in hunne afwijkingen van de besproken wet eene overeenkomst hebben met het verdichtbare koolzuur.

Doch het karakter van natuurwetten wordt slechts overzien, wanneer men de meetbare factoren alle mogelijke waarden laat doorloopen. De gelukkigste greep in het verder onderzoek van deze afwijkingen was dan

ook die van Andrews. Hij onderwierp het koolzuur binnen capillaire glasbuizen bij verschillende temperaturen aan zeer hooge drukkingen. Daardoor bleek eene stof als het koolzuur zoozeer af te wijken van de wet van Boyle-Gay-Lussac, dat daarbij zelfs een geleidelijke overgang tusschen den gasvormigen en den vloeibaren toestand kon worden aangetoond, en vond Andrews in de kritische temperatuur de grens, beneden welke een gas moet zijn afgekoeld om tot vloeistof verdicht te kunnen worden. Deze beteekenis van de kritische temperatuur werd schitterend bewezen toen ook de permanente gassen voor het vernuft van Cailletet en Pictet moesten bezwijken, en het aan deze onderzoekers gelukte bij uiterst lage temperaturen de zuurstof en de waterstof als nevel of vloeistofstraal te aanschouwen.

Door de metingen van Andrews was aan de natuur de grafische voorstelling ontleend van de wet van samenhang tusschen druk, volume en temperatuur. Op dergelijke, nauwkeurige en volledige wijze moeten de natuurverschijnselen beschreven zijn voor zij doorgrond kunnen worden. Voor onzen landgenoot van der Waals was het weggelegd om door zijn geniale onderzoekingen het volle licht der theorie op de afwijkingen van de wet van Boyle en op de continuiteit van den gas- en vloeistoftoestand te werpen, en deze uit de beweging der moleculen te verklaren. (Daarbij moest hij letten op het volume der moleculen zelve en op de aantrekking, welke zij onderling uitoefenen en die als moleculairen druk ik rekening kon worden gebracht). Door zijne theoretische uitkomst (dat het product van het vrije volume en den geheelen druk, welke de botsingen in evenwicht houdt, evenredig moet zijn aan de absolute

temperatuur) bracht hij leven in de talrijke metingen op dit gebied. Zelfs kon hij de kritische temperatuur van een gas uit de afwijkingen van de wet van Boyle-Gay-Lussac voorspellen en bevestigd vinden.

Toch was de verklaring van den kritischen toestand slechts de eerste schrede, welke door v.d. Waals op het gebied van de moleculaire theorie der vloeistoffen werd gezet. Weldra ontdekte hij, dat de kritische toestand het middel levert om overeenkomstige toestanden der vloeistoffen aan te wijzen, welke voor de vergelijking van hare eigenschappen van het hoogste belang zijn. Men brengt verschillende vloeistoffen in deze overeenkomstige toestanden, wanneer men bij temperaturen, welke dezelfde verhouding hebben tot de kritische temperaturen, ze aan drukkingen onderwerpt, die in eene zelfde verhouding staan tot de kritische drukkingen. In overeenkomstige toestanden zijn dan de volumes, welke door eenzelfde aantal moleculen ingenomen worden, voor elke vloeistof htezelfde deel van het kritisch volume. Deze nieuwe benaderingswet bleek door de schatten van metingen, welke Regnault, Kopp en anderen omtrent de physische constanten der vloeistoffen hadden verzameld, van uitgebreide geldigheid te zijn. Zij brengt daardoor een verrassend leven in hunne talrijke onderzoekingen (omtrent uitzettingscoëfficienten, samendrukkingscoefficienten, dampspanningen en latente warmte).

De ontdekking van deze overeenkomstige toestanden doet nu weder de vraag rijzen, wat de grond van hunne merkwaardige beteekenis is.

Het schijnt mij, dat het analoog gedrag der vloei-

stoffen in deze toestanden zijne verklaring vindt in die overeenkomst van samenvoeging en beweging der moleculen, welke men de gelijkvormigheid der bewegingen noemt. [Wanneer men zich de vloeistoffen mag voorstellen als stelsels van harde veerkrachtige gelijkvormige moleculen, welke met krachten omgekeerd evenredig aan eene macht van den afstand op elkaar werken, dan mogen de bewegingen van deze molecuulstelsels in overeenkomstige toestanden als gelijkvormige bewegingen worden beschouwd. Om deze gelijkvormigheid te kenschetsen kunnen wij wijzen op de overeenkomst van werktuigen naar dezelfde teekening, maar op verschillende schaal en van verschillend materiaal vervaardigd. Daarbij moeten wij dan om het beeld te voltooien aannemen, dat het eene werktuig sneller, het andere langzamer loopt al naar gelang van afmetingen en materiaal. Een dergelijk verschil en eene dergelijke overeenkomst als tusschen zulke werktuigen schijnt mij tusschen de molecuulstelsels, welke wij vloeistoffen noemen, te bestaan, wanneer zij in overeenkomstige toestand zijn gebracht. Laten wij ons voorstellen, dat wij aan elk molecuulstelsel de maateenheden van massa, lengte en tijd ontleenen, waarmede de toestanden van dit stelsel het eenvoudigst beschreven kunnen worden. Zulke eenheden geeft de natuur ons bijv. in de massa van het molecuul, in de lengte van den straal van het (bolvormig) molecuul, en in den tijd waarin twee moleculen op de eenheid van afstand elkander de eenheid van versnelling zouden geven. Op deze van onze willekeur onafhankelijke eenheden kunnen wij een stelsel vaar afgeleide maateenheden (van druk, levende kracht, temperatuur enz.,) opbouwen, op dergelijke wijze als

het absoluut electromagnetisch maatstelsel. Wij zouden aan het nu bedoelde den naam van moleculair absoluut maatstelsel kunnen geven. Overeenkomstige bewegingstoestanden der molecuulstelsels, welke wij vloeistoffen noemen, zijn nu die, welke elk in zijn eigenaardig maatstelsel beschreven door dezelfde getallen worden uitgedrukt.] Dientengevolge kan men uit het gedrag van eene enkele vloeistof dat van elke andere met behulp van eenige verhoudingsgetallen afleiden.

Gelijk elke benaderingswet, zoo geeft ook de wet van v.d. Waals een nieuwen spoorslag aan het metend onderzoek. Ik durf zelfs te beweren, dat zijne ontdekking der overeenkomstige toestanden eene geheele omkeering op het gebied van de bepaling der physische constanten teweegbrengt. Zij wijst in plaats van de willekeurige schaal van temperatuur en druk de natuurlijke schaal aan, volgens welke de physische eigenschappen der vloeistoffen vergelijkbaar kunnen worden opgegeven. De specifieke warmte, de coëfficienten van wrijving, van warmtegeleiding en capillariteit, de diëlectrische polarisatie, het moleculair refractievermogen en de dispersie moeten volgens deze schaal van overeenkomstige toestanden worden bestudeerd. Eerst dan mag men verwachten - benaderingswetten te vinden van meer algemeene geldigheid dan die, welke tot nu toe werden opgesteld, benaderingswetten, welke de eigenaardigheid bezitten, dat elke afwijking er van eene vingerwijzing is in het onderzoek naar het wezen der moleculen. Want in die afwijkingen zal zich juist de eigenaardigheid in bouw en onderlinge werking der moleculen vertoonen.

Hier moeten, gelijk in elk deel der moleculaire physica, theorie en meting bij het verder onder-

zoek de handen ineen slaan. Uit benaderde onderstellingen omtrent de moleculen kan de theorie den onmisbaren leidraad voor het experiment verkrijgen. De meting daarentegen beslist over hare juistheid; zij zorgt, dat het onderzoek niet door de verleidelijke afronding van eene wiskundige theorie in slaap worde gewiegd. Zij levert eindelijk in de afwijkingen de natuurlijke bouwstoffen voor nieuwe hypothesen omtrent de eigenschappen der moleculen.

Met het telkens terugbrengen der afwijkingen tot steeds nieuwe benaderingswetten moet de uitbreiding van de grenzen van het onderzoek (wat temperatuur en druk betreft), en de verhooging van de nauwkeurigheid gelijken tred houden. Eenerzijds worden de pompen van Cailletet en Pictet daardoor tot onmisbare laboratoriumswerktuigen, anderzijds moet tegenwoordig een deel van een physisch laboratorium op astronomische leest geschoeid zijn. Het moet voorzien zijn van instrumenten, wier eigenaardigheden geheel bekend en in registers opgeteekend zijn, en van localen geschikt om deze instrumenten met vrucht te gebruiken.

Waar gesproken wordt van de nieuwe richting in de natuurkunde mag een woord over den nauwen samenhang van physica en chemie niet achterwege blijven. Meer en meer smelten zij samen tot eene groote wetenschap, de mechanica der atomen, en mijn streven het physisch laboratorium ook aan deze samensmelting dienstbaar te maken, doet mij met voorliefde stilstaan bij hunne talrijke punten van aanraking in het metend onderzoek. Het verband van dampdichtheid en moleculair gewicht, de beteekenis van de valentie in de

electrolyse, de invloed der physische beschouwingen op de keuze van vergelijkbare atoomgewichten, wier rangschikking in Lothar Meyer's tabel ons een der belangrijkste natuurwetten tracht toe te fluisteren, vormen dergelijke aanrakingspunten; en de grenzen van physische en chemische werking mogen slechts als kunstmatige worden beschouwd. Zoowel de dynamische richting in de chemie, welke overal in de chemische processen verschillende reactien met elkaar ziet kampen, (tot dat hun evenwicht volgens de tweede hoofdwet der mechanische warmtetheorie bereikt is), als de statische richting, welke op de scherpzinnigste wijze met hulp van de groote wet der aaneenschakeling der atomen de constitutie naspoort, vraagt voor hare ontwikkeling metend onderzoek. De dynamische richting moet in de afwijkingen van Avogadro's wet eenerzijds, in de afwijkingen van eigenschappen bij overeenkomstige toestanden van vloeistoffen anderzijds, de dissociatie bestudeeren; zij moet door de meting der electromotorische kracht in absolute maat, met welke Bosscha de mechanische theorie der electrolyse inwijdde, (en die der snelheid van electrolytische voortbeweging) de wijziging der reactien (langs electrischen weg, reeds volgens Faraday een rijke bron van inzicht,) volgen. Door Berthelot's en Thomsen's talrijke metingen (omtrent het verschil van arbeidsvermogen bij het begin en einde der chemische omzettingen, met allervernuftigste keuze der reactien verbonden,) werpt zij reeds licht op het groote vraagstuk, wanneer chemische reactien al of niet zullen plaats hebben of wel omkeerbaar zijn, en geeft zij ons een voorproef van hare ontwikkeling, wanneer zij bevrijd zal zijn van de banden, waarin zij nu nog bekneld wordt

door de geringe ontwikkeling der moleculaire physica.

En wat de statische richting betreft, zij roept meer en meer de kennis der physische eigenschappen te hulp bij het vaststellen van de eigenaardigheden in den bouw der moleculen. Bepalingen van warmteontwikkeling bij de vorming van isomere stoffen (Berthelot's kenomerien), van kookpunten en dampspanningen (in kromme lijnen voorgesteld), van specifieke volumina en wrijvingscoëfficienten (Lothar Meyer), moeten alle dienen om bouwstoffen te verzamelen in deze richting. De onderzoekingen van Landolt en Brühl hebben den spectrometer voor het opsporen der meervoudige binding in de scheikunde ingevoerd, maar het schijnt mij dat de meest k e n m e r k e n d e verschillen in den bouw der moleculen door het onderzoek der thermische eigenschappen (warmtegeleiding, wrijvingscoëfficienten, enz.,) in overeenkomstige toestanden zullen worden ontdekt. Zooals echter eerst de metingen van Picard en Flamsteed, Newton in staat stelden om de wet der algemeene aantrekkingskracht op te stellen, zoo moeten ook omtrent de physische eigenschappen van allerlei stoffen in allerlei toestanden, door meting en theorie, tafels als die omtrent den loop der hemellichamen ontworpen zijn, vóór de tijd kan aanbreken, waarin de synthese van indigo eene physische proef, de onderzoekingen van Regnault chemische metingen zullen zijn, en een tweede Newton de wereld der moleculen verklaart.

Kan het dus niet betwijfeld worden, dat de toekomstige vorderingen der wetenschap voornamelijk quantitatief onderzoek eischen, niet minder meen ik daaraan

de eereplaats in het laboratorium toe te moeten kennen, omdat ik het nawerken van onderzoekingen, die met klassieke nauwkeurigheid zijn verricht, de beste leerschool voor opleiding tot natuurkundige in den waren zin des woords acht.

Herhaling van een onderzoek kan alleen belang inboezemen wanneer zij geschiedt in den vorm, welke door den onderzoeker ten slotte als de meest geschikte is gekozen. Naar mijn gevoelen heeft echter het bloote waarnemen van een verschijnsel volgens bepaalde voorschriften iets onbevredigends. Doch het quantitatief onderzoek sluit in de nauwkeurigheid van de uitkomst de contrôle in zich, waardoor men met voldoening de vruchten van eigen arbeid aanschouwen kan.

Het eischt voor alles eene heldere voorstelling van de grootheden, welke men meten wil. De wensch om met de aangewezen hulpmiddelen de uiterste nauwkeurigheid te bereiken leert hunne doelmatigheid beseffen en dwingt den onderzoeker tot zorgvuldigheid en volharding. Slechts door zelfcritiek en methode kan de uitkomst verkregen worden, die zelfvertrouwen schenkt.

En door de volledigheid, met welke men bij het quantitatief onderzoek zich van elk verschijnsel rekenschap moet geven, kan in menig oog de gave ontwikkeld worden om n i e u w e verschijnselen op te merken.

Maar evenzeer als door nieuwheid behooren onderzoekingen uit te blinken door degelijkheid. En die degelijkheid wordt gekweekt, wanneer men de klassieken zoo bestudeert als noodig is om met vrucht hunne metingen te herhalen. Ook de natuurkunde heeft hare klassieken, wier studie de altijd frissche bron van nieuw inzicht en bezieling voor wetenschappelijk werken is.

Zij leeren, dat men de verschijnselen volgen moet tot aan de grens, welke met den algemeenen stand der wetenschap overeenkomt. In tegenstelling met die richting, welke in de tegenwoordige wetenschappelijke literatuur op een menigte opstellen den schijn laadt van het streven des schrijvers om zijn naam aan zooveel mogelijk verschijnselen te verbinden, wensch ik dan ook aan de hand der klassieken het wetenschappelijk plichtgevoel te ontwikkelen, dat volledig en grondig onderzoek eischt.

Mijne Heeren Curatoren!

Mijn hartelijken dank betuig ik U voor het vertrouwen, dat gij mij hebt geschonken, nu gij mij niettegenstaande mijn jeugdigen leeftijd tot deze hoogst gewichtige taak hebt geroepen en in mijne voorbereiding daartoe de aanduiding van vruchtdragende werkzaamheid hebt willen vinden.

Uw ruime blik heeft reeds bij de stichting van twee leerstoelen voor de natuurkunde aan deze hoogeschool het belang erkend, dat er gelegen is in eene volkomen toewijding aan de rijke schatten, welke in het physisch kabinet geborgen zijn. Ik beloof met deze schatten naar mijn beste weten te zullen woekeren.

Zeker ware het wenschelijk dat er in Nederland ten minste één natuurkundig laboratorium van den eersten rang verrees. Een enkel burger van Baltimore stichtte de schitterende John Hopkins-Universiteit. De hertog van Devonshire schonk aan Cambridge het prachtig uitgerust laboratorium, dat met den naam van Caven-

dish prijkt. Ik houd het voor geen ijdele hoop, dat ons vaderland, bij het herleven van den volksgeest, eerlang mannen als een John Hopkins en een hertog van Devonshire zal kunnen aanwijzen. Dan zal het mogelijk zijn aan een der herschapen laboratoria van onze hoogescholen den naam van Huygens te verbinden als lang verschuldigde hulde van het volk, dat onder zijne grootste zonen dezen evenknie van Newton telt. Zoolang de wetenschappelijke zin van ons volk niet tot dit peil gerezen is, zal ik Uwen steun in de hoogste mate noodig hebben om aan de Leidsche hoogeschool met vrucht werkzaam te zijn in de richting, welke ik U heb trachten te schetsen. Wil mij dien steun niet onthouden.

Zeer zoude ik het op prijs gesteld hebben, mijnen hooggeachten voorganger, RIJKE, hier tegenwoordig te zien om hem te betuigen, welk een zware taak het voor mij is zijn opvolger te zijn. Al mijne krachten zal ik moeten inspannen om niet bij hem achter te staan in den ijver, met welken hij zich steeds aan zijne zorgvuldig voorbereide colleges heeft gewijd, in de vaardigheid van experimenteeren, welke door hem in een leven van toewijding aan de proefondervindelijke natuurkunde werd verkregen.

Slechts de wet sluit voor hem het arbeidsveld, waar zijne werkzaamheid nog de schoonste vruchten af zoude kunnen werpen.

Het moge de taak van een zijner talrijke leerlingen geacht worden, aan zijne verdiensten voor het wetenschappelijk onderwijs een woord van dankbare hulde te wijden, voor mij is het een aangename plicht hier de

uitnemende zorg te roemen, welke door hem aan de stichting van het physisch kabinet is besteed, en te betuigen, dat mij door hem in oordeelkundige uitbreiding en nauwgezet beheer dier kostbare verzameling een schitterend voorbeeld ter navolging is gesteld.

Moge het hem nog lang gegeven zijn, de wetenschap te blijven verrijken met die bijdragen, welker lof mij niet voegt, wanneer een Tyndall zegt, dat hun verdienste door de bescheidenheid des ontdekkers wordt geëvenaard.

Mijne Heeren Professoren!

Met vertrouwen richt ik, in den kring van mannen van zooveel verdienste voor wetenschap en onderwijs tredende, tot U het verzoek mij te steunen met Uwe ervaring en Uwe welwillendheid.

Dat het voor mij eene aangename taak zal zijn in 't bizonder met U, hooggeachte ambtgenooten der Wisen Natuurkundige Faculteit, samen te werken, mocht mij reeds blijken uit de voorkomendheid, met welke velen Uwer mij zijn te gemoet getreden. Mag ik van ééne levenservaring spreken, zoo is het deze, dat door onzelfzuchtige toewijding aan gemeenschappelijke idealen de hechtste vriendschapsbanden worden geknoopt. Reeds vóór mijne benoeming, hooggeachte VAN DE SANDE BAKHUYZEN, mocht ik van U de meest aangename blijken van toegenegenheid ondervinden. Gij, hooggeachte VAN BEMMELEN hebt mij met niet minder innige vriendschap nu als collega welkom geheeten, als waarmede gij vroeger in den jeugdigen leerling de lust voor natuurwetenschap hebt gewekt, en hem steeds de har-

telijkste belangstelling hebt betoond. Ik deel dit voorrecht met U hooggeachte LORENTZ. In Uwe beproefde vriendschap zie ik den waarborg, dat aan de Leidsche Hoogeschool die nauwe verbinding van theorie en experiment zal worden voorgestaan, welke de nieuwe richting in onze wetenschap met recht verlangt.

Hooggeachte Bosscha!

Niet met vele woorden behoef ik U te zeggen, met welke innige dankbaarheid ik van deze plaats het woord tot U richt. In de vier jaren, gedurende welke ik als assistent Uw leerling mocht zijn, hebt Gij mij tot werkzaamheden van steeds meer verantwoordelijkheid voorbereid en geroepen. Uwe goede verwachtingen zijn mij een krachtigen steun bij het aanvaarden van de taak, in welker vervulling ik mij als Uw leerling hoop te mogen blijven beschouwen. Moeilijk zal ik voor anderen dat kunnen worden, wat Gij voor mij reeds geweest zijt. Maar het zal mijn innig streven zijn te toonen, dat gij niet te vergeefs Uw kostbaren tijd aan mij hebt geschonken, wanneer Gij getracht hebt mij iets mede te deelen van Uw doorzicht, van Uwe helderheid van voorstellingen en van Uwe gave om wetenschappelijke vraagstukken tot hun eenvoudigsten vorm terug te brengen; te toonen, dat ik niet onwaardig was onder Uwe onschatbare leiding eene leerschool van proefondervindelijk onderzoek te doorloopen. Blijf mij naast Uwen steun en Uwe voorlichting die vriendschap schenken, welke ik een der rijkste schatten mijns levens acht.

Mijne Heeren Studenten!

De universiteit moet de kweekplaats van het ideale streven zijn. De spes patriae wordt aan haar toevertrouwd niet enkel om toegerust te worden met die kennis, welke het maatschappelijk organisme noodig heeft om te bestaan en te werken, maar vooral ook opdat zij te midden van het volk die bezieling voor edele drijfveeren zal verspreiden, welke de onmisbare grondslag van een krachtig volksbewustzijn is. Onthoud mij Uwe medewerking niet, wanneer ik in het aankweeken van den zin voor wetenschappelijk onderzoek meer dan in het mededeelen van uitkomsten, mijn deel tracht bij te dragen, om de bevordering der wetenschap te maken tot eene zaak des volks.

IK HEB GEZEGD.